

Requested Patent: JP9285088A

Title:

PERMANENT MAGNET DYNAMO-ELECTRIC MACHINE AND MOTOR-DRIVEN VEHICLE EMPLOYING THE SAME ;

Abstracted Patent: JP9285088 ;

Publication Date: 1997-10-31 ;

Inventor(s):

TAJIMA FUMIO; MATSUNOBU YUTAKA; KAWAMATA SHOICHI; SHIBUKAWA SUETARO; KOIZUMI OSAMU; ODA KEIJI ;

Applicant(s): HITACHI LTD; HITACHI CAR ENG CO LTD ;

Application Number: JP19960091014 19960412 ;

Priority Number(s): JP19960091014 19960412 ;

IPC Classification: H02K21/16 ;

Equivalents: US6034460 ;

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a permanent magnet dynamo-electric machine which is suitable for a high speed operation, highly efficient and small in size and weight and, further, provide a motor-driven vehicle which can run a long distance with one charge by employing such a permanent magnet dynamo-electric machine. SOLUTION: A dynamo-electric machine 10 is composed of a stator 20 which has a stator core 22 on which stator windings 24 are wound and a rotor 30 which is held inside the stator 20 so as to be able to rotate and has a rotor core 32 and a plurality of permanent magnets 36 which are so arranged in the rotor core 32 as to face the stator core 22. The stator windings 24 are concentratedly wound on the poles 22B of the stator 20.

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-285088

(43)公開日 平成9年(1997)10月31日

(51)Int.Cl.  
H 02 K 21/16

識別記号

庁内整理番号

F I  
H 02 K 21/16

技術表示箇所  
M

審査請求 未請求 請求項の数7 OL (全12頁)

(21)出願番号

特願平8-91014

(22)出願日

平成8年(1996)4月12日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(71)出願人 000232999

株式会社日立カーエンジニアリング

312 茨城県ひたちなか市高場2477番地

(72)発明者 田島 文男

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

(72)発明者 松延 豊

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

(74)代理人 弁理士 春日 譲

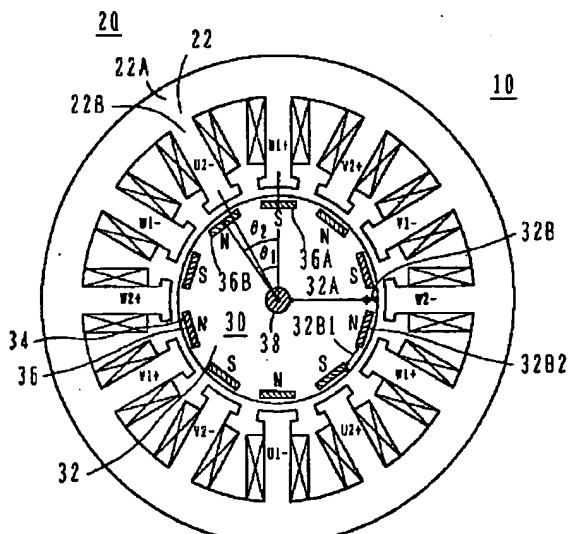
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 永久磁石回転電機及びそれを用いた電動車両

(57)【要約】

【課題】本発明の目的は、高速に適し、高効率であるとともに、小型軽量な永久磁石回転電機を提供し、また、かかる永久磁石回転電機を使用することにより、一充電走行距離の長い電動車両を提供するにある。

【解決手段】回転電機10は、固定子巻線24を巻回した固定子鉄心22を有する固定子20と、固定子20の内周に回転可能に保持され、回転子鉄心32とこの回転子鉄心32の内部に上記固定子鉄心と対向して配置された複数個の永久磁石36を有する回転子30とから構成されている。ここで、固定子巻線24は、固定子20の磁極22Bに集中的に巻回されている。



20:固定子  
22:固定鉄心  
24:固定子巻線  
30:回転子  
32B1:  
36:永久磁石

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 固定子巻線を巻回した固定子鉄心を有する固定子と、この固定子の内周に回転可能に保持され、磁性材からなる回転子鉄心とこの回転子鉄心の内部に上記固定子鉄心と対向して配置された複数個の永久磁石を有する回転子とから構成された永久磁石回転電機において、上記固定子巻線は、上記固定子の磁極に集中的に巻回されていることを特徴とする永久磁石回転電機。

【請求項2】 請求項1記載の永久磁石回転電機において、上記複数個の永久磁石の間に、上記永久磁石より高い透磁率を有する磁性材料を配置したことを特徴とする永久磁石回転電機。

【請求項3】 請求項2記載の永久磁石回転電機において、同一の相に接続される上記固定子巻線の巻回される固定子磁極は、上記回転子に対して、少なくとも一つは位相が異なることを特徴とする永久磁石回転電機。

【請求項4】 請求項3記載の永久磁石回転電機において、上記固定子磁極の極数をMとし、上記回転子の永久磁石の極数をPとしたとき、 $M : P = 6n : 6n \pm 2$  ( $n$  : 正の整数)としたことを特徴とする永久磁石回転電機。

【請求項5】 請求項3記載の永久磁石回転電機において、上記固定子磁極の極数をMとし、上記回転子の永久磁石の極数をPとしたとき、 $M : P = 3n : 3n \pm 1$  ( $n$  : 正の整数)としたことを特徴とする永久磁石回転電機。

【請求項6】 請求項1記載の永久磁石回転電機において、上記回転子の極数を、8極以上としたことを特徴とする永久磁石回転電機。

【請求項7】 固定子巻線を巻回した固定子鉄心を有する固定子と、この固定子の内周に回転可能に保持され、磁性材からなる回転子鉄心とこの回転子鉄心の内部に上記固定子鉄心と対向して配置された複数個の永久磁石を有する回転子とから構成された永久磁石回転電機を備え、この永久磁石回転電機により車輪の駆動される永久磁石回転電機を用いた電動車両において、

上記固定子巻線は、上記固定子の磁極に集中的に巻回されていることを特徴とする永久磁石回転電機を用いた電動車両。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、永久磁石回転電機及びそれを用いた電動車両に係り、特に、内部磁石型回転電機に好適な永久磁石回転電機及びそれを用いた電動

車両に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 電動車両、特に、電気自動車において使用される駆動電動機は、電気自動車として積載されるバッテリーの量が限定され、かつ、そのバッテリー容量で十分な一充電走行距離を確保することが必要ために、小型軽量、高効率であることが望まれている。

【0003】 電動機を小型軽量化するためには、高速回転に適していることが要望される。また、高効率電動機としては、直流電動機や誘導電動機よりも永久磁石電動機が推奨できる。

【0004】 永久磁石回転子には、永久磁石を回転子の外周に配置する表面磁石回転子と、永久磁石よりも高い透磁率を有する、例えば、珪素鋼板の中に永久磁石保持部を有する、いわゆる内部磁石回転子とがある。

【0005】 表面磁石永久磁石電動機は、磁石磁束のため制御が簡単であることや、固定子巻線の反作用磁束の影響が弱いため低騒音にできる反面、高速回転のために磁石の補強が必要であること、弱め界磁制御が困難であるため、速度制御範囲が狭く、高速低負荷時の効率が低いこと等の欠点を有していた。

【0006】 一方、内部磁石永久磁石電動機は、表面磁石回転子と反対に、弱め界磁制御によって高速まで運転できる点、弱め界磁制御によって高速低負荷時を高効率にできる点、磁石外周の磁性体の磁極片部によって高速時まで回転可能である点、リラクタンストルクを利用できる等の利点を有している。

【0007】 内部永久磁石回転電機としては、例えば、特開平5-219669号公報や特開平7-39091号公報の図5に記載のものが知られている。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】 従来の内部永久磁石回転電機において、電動車両等に用いることができる大型回転電機では、その固定子の構造としては、分布巻固定子が採用されている。

【0009】 しかしながら、分布巻固定子は、固定子の巻線のエンド部が長くなるため、回転電機本体の大きさを小型化するには限界があるという問題があった。特に、電動車両に用いる回転電機においては、高速に適し、高効率であることが要求されるとともに、さらに、小型軽量であることが要求されている。

【0010】 本発明の目的は、高速に適し、高効率であるとともに、小型軽量な永久磁石回転電機を提供し、また、かかる永久磁石回転電機を使用することにより、一充電走行距離の長い電動車両を提供するにある。

## 【0011】

【課題を解決するための手段】 上記の目的を達成するため、本発明は、固定子巻線を巻回した固定子鉄心を有する固定子と、この固定子の内周に回転可能に保持され、磁性材からなる回転子鉄心とこの回転子鉄心の内部

に上記固定子鉄心と対向して配置された複数個の永久磁石を有する回転子とから構成された永久磁石回転電機において、上記固定子巻線は、上記固定子の磁極に集中的に巻回するようにしたものであり、かかる構成により、回転電機を小型化し得るものとなる。

【0012】上記永久磁石回転電機において、好ましくは、上記複数個の永久磁石の間に、上記永久磁石より高い透磁率を有する磁性材料を配置するようにしたものであり、かかる構成により、弱め開磁制御を行い、高速回転に適し得るものとなる。

【0013】上記永久磁石回転電機において、好ましくは、同一の相に接続される上記固定子巻線の巻回される固定子磁極は、上記回転子に対して、少なくとも一つは位相が異なるようにしたものであり、かかる構成により、脈動トルクを低減し得るものとなる。

【0014】上記永久磁石回転電機において、好ましくは、上記固定子磁極の極数をMとし、上記回転子の永久磁石の極数をPとしたとき、 $M : P = 6n : 6n \pm 2$  ( $n$  : 正の整数) とするようにしたものであり、かかる構成により、脈動トルクを低減し、さらに、コギングトルクを低減し得るものとなる。

【0015】上記永久磁石回転電機において、好ましくは、上記固定子磁極の極数をMとし、上記回転子の永久磁石の極数をPとしたとき、 $M : P = 3n : 3n \pm 1$  ( $n$  : 正の整数) とするようにしたものであり、かかる構成により、脈動トルクを低減し、さらに、コギングトルクを低減し得るものとなる。

【0016】上記永久磁石回転電機において、好ましくは、上記回転子の極数を、8極以上とするようにしたものであり、かかる構成により、高速回転に適したものとなる。

【0017】上記目的を達成するために、本発明は、固定子巻線を巻回した固定子鉄心を有する固定子と、この固定子の内周に回転可能に保持され、磁性材からなる回転子鉄心とこの回転子鉄心の内部に上記固定子鉄心と対向して配置された複数個の永久磁石を有する回転子とから構成された永久磁石回転電機を備え、この永久磁石回転電機により車輪の駆動される永久磁石回転電機を用いた電動車両において、上記固定子巻線は、上記固定子の磁極に集中的に巻回するようにしたものであり、かかる構成により、一充電走行距離を長くし得るものとなる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施形態による永久磁石回転電機について、図1～図5を用いて説明する。図1は、本発明の一実施形態による永久磁石回転電機の正面側から見た部分断面図である。

【0019】図1において、回転電機10の固定子20は、固定子鉄心22と、この固定子鉄心22に巻回された多相の固定子巻線24と、固定子鉄心22をその内周面に固定保持するハウジング26から構成されている。

回転子30は、回転子鉄心32と、回転子鉄心32に設けられた永久磁石挿入孔34に挿入された永久磁石36と、シャフト38とから構成されている。シャフト38は、ペアリング42, 44によって回転自在に保持されている。ペアリング42, 44は、エンドブラケット46, 48によって支持されており、エンドブラケット46, 48は、ハウジング26の両端にそれぞれ固定されている。

【0020】また、回転子30の永久磁石36の位置を検出する磁極位置検出器PS及び回転子30の位置を検出するエンコーダEが、回転子30の側面側に配置されている。回転電機10は、磁極位置検出器PSの信号と、エンコーダEの出力信号によって、図3によって後述する制御装置によって運転制御される。

【0021】図2は、図1のA-A矢視の断面図であるが、ハウジングの図示は省略してある。図2において、回転電機10は、固定子20と回転子30とから構成されている。固定子20は、固定子鉄心22と固定子巻線24から構成される。固定子鉄心22は、円環状の固定子ヨーク22Aと固定子磁極22Bとからなり、固定子磁極22Bには、固定子巻線24が集中的に巻回される構成である。各巻線24は、空隙面での磁路を共有することのない構成である。固定子巻線を集中巻とする固定子構造とすることにより、エンドコイル部の長さを短くすることができるため、回転電機の体格を小さくすることができる。エンドコイル部は、図1において、固定子鉄心22の左右から固定子巻線24が飛び出ている部分であり、このエンドコイル部を短くできるため、回転電機の長さを短くでき、小型化できる。

【0022】固定子巻線24のU相には、U1+, U1-, U2+, U2-がそれぞれ接続され、V相には、V1+, V1-, V2+, V2-がそれぞれ接続され、W相には、W1+, W1-, W2+, W2-がそれぞれ接続される。

【0023】回転子30は、高透磁率磁性材料である、例えば、複数枚の珪素鋼板が積層されている回転子鉄心32と、回転子鉄心32に設けられた4個の永久磁石挿入孔34に挿入された4個の永久磁石36と、シャフト38から構成されている。10個の永久磁石36は、極性が互いに反対方向になるように、回転子鉄心32の周方向に等間隔で配置されている。

【0024】回転子鉄心32は、永久磁石挿入孔34とシャフト38を通す孔が打ち抜かれる構造となっている。永久磁石挿入孔34とシャフト38を通す孔が打ち抜かれ珪素鋼板を積層し、貫通する永久磁石挿入孔34とシャフト38を通す孔の中に永久磁石36及びシャフト38が挿入されて回転子30を構成する。

【0025】回転子鉄心32を半径方向に分けると、内周側のヨーク部32Aと、外周部32Bに分けられる。また、回転子鉄心32の外周部32Bを周方向に2つの部分に分けると、補助磁極部32B1と、磁極片部32

B2に分けられる。補助磁極部32B1は、隣合う永久磁石挿入孔34に挟まれる領域であり、磁石の磁気回路をバイパスして、固定子の起磁力によって直接磁束を固定子側に発生させる領域である。磁極片部32B2は、回転子鉄心32の外周部32Bの中で、永久磁石36の外周側に位置する領域であり、永久磁石36からの磁束B6がギャップを介して固定子20側に流れ、磁気回路を構成する領域である。

【0026】永久磁石36は、補助磁極部32B1によって周方向を覆われ、磁極片部32B2によって外周を覆われた永久磁石挿入穴34の中に収納することができ、高速回転に適した電動機とすることができます。

【0027】ここで、集中巻固定子は、一般には、リラクタンスマータや小型のブラシレスモータに使用されている。この場合、リラクタンスマータの場合には、回転子は補助磁極のみであり、ブラシレスモータの場合には、永久磁石を回転子外表面に直接配置する構成である。従って、リラクタンスマータの場合には脈動トルクが大きく、また、トルクが小さいものである。

【0028】一方、表面磁石回転子の場合には、弱め界磁制御が比較的困難であり、表面磁石に発生する渦電流によって損失を発生し、効率を低下させるものであつた。

【0029】それに対して、内部永久磁石の回転子と、集中巻固定子を組み合わせた構成とすることによって、永久磁石の磁束によるトルクと補助磁極のリラクタンス成分によるトルクの両方を活用でき、高効率とすることができます。また、後述のように補助磁極の効果によって弱め界磁が可能となり、運転領域、特に、高速領域での運転領域が格段に広くすることができます。

【0030】さらには、磁極片部が磁性体であるため、固定子磁極の脈動磁束を緩和することができる。また、積層鉄心であるため、渦電流損を発生しないものである。

【0031】なお、図2に示す例では、電動機構成で、3相、かつ永久磁石回転子36の極数Pが10極、固定子の磁極数Mが12極の構成としている。固定子磁極をM、回転子磁石の極数をPとしたとき、M:P=6n:6n±2（ここでnは正の整数）なる構成とすることにより、トルク脈動が少なく、かつ、巻線の利用率（巻線係数）を大きくできることから、高効率、小型軽量とすることができます。

【0032】以上は、電動機の例で示したが、発電機でも同様であることはいうまでもないことである。

【0033】次に、図3を用いて、本実施形態による永久磁石回転電機を制御する制御装置について説明する。図3は、本発明の一実施形態による永久磁石回転電機の制御回路の回路図である。

【0034】直流電源80よりインバータ82を介して回転電機10の固定子巻線24に電力を供給する。速度

制御回路（ASR）84は、速度指令 $\omega_s$ と、エンコーダEからの位置情報 $\theta$ からF/V変換器86を介して得られる実際の速度 $\omega_f$ とから速度差 $\omega_e$ を算出し、これにP/I制御（P:比例項、I:積分項）等によってトルク指令、即ち、電流指令 $I_s$ と回転子30の回転角 $\theta_1$ を出力する。

【0035】位相シフト回路88は、エンコーダEよりのパルス、即ち、回転子の位置情報 $\theta$ を、速度制御回路（ASR）84からの回転角 $\theta_1$ の指令に応じて位相シフトして出力する。正弦波・余弦波発生器90は、回転子30の永久磁石磁極の位置を検出する位置検出器PSと、位相シフト回路88からの位相シフトされた回転子の位置情報 $\theta$ に基づいて、固定子巻線24の各巻線（ここでは3相）の誘起電圧を位相シフトした正弦波出力を発生する。位相シフト量は、零の場合でもよい。

【0036】2相-3相変換回路92は、速度制御回路（ASR）84からの電流指令 $I_s$ と正弦波・余弦波発生器90の出力に応じて、各相に電流指令 $I_{sa}$ ,  $I_{sb}$ ,  $I_{sc}$ を出力する。各相はそれぞれ個別に電流制御系（ACR）94A, 94B, 94Cを持ち、電流指令 $I_{sa}$ ,  $I_{sb}$ ,  $I_{sc}$ と電流検出器CTからの電流検出信号 $I_{fa}$ ,  $I_{fb}$ ,  $I_{fc}$ に応じた信号を、インバータ82に送って各相電流を制御する。この場合、各相合成の電流は、界磁磁束に直角、あるいは位相シフトした位置に常に形成され、これによって無整流子で、かつ直流機と同等の特性を得ることができます。

【0037】ここで、電機自動車に適用する場合には、制御装置は、速度制御回路84ではなく、直接トルクを制御するトルク制御系を有する。即ち、速度制御回路84に替えて、トルク制御回路を使用する。トルク制御回路は、入力信号として、トルク $T_s$ と、トルク検出器によって得られる実際のトルク $T_f$ とからトルク $T_e$ を算出し、これにP/I制御（P:比例項、I:積分項）等によってトルク指令、即ち、電流指令 $I_s$ と回転子30の回転角 $\theta_1$ を出力する。

【0038】永久磁石回転電機においては、トルクは電流に直接比例するために電流制御系を速度制御回路84の代わりに配置される。

【0039】固定子巻線24の結線は、3相固定子巻線で、U相には、U1+, U1-, U2+, U2-が図示の順で接続され、V相には、V1+, V1-, V2+, V2-が図示の順で接続され、W相には、W1+, W1-, W2+, W2-が図示の順で接続される。ここで、各相を構成する巻線、例えば、U相ではU1+とU2-の間、U1-とU2+の間、V相ではV1+とV2-の間、V1-とV2+の間、W相ではW1+とW2-の間、W1-とW2+の間では、電気角で30度の位相差を有する。即ち、図1に示すように、例えば、固定子磁極U1+とU2-の間の角度 $\theta_1$ に対して、回転子30の隣合う永久磁石36の角度 $\theta_2$ となっており、電気角で30度の位相差を有するようになっている。このようにし

て、同一の相に接続される固定子巻線の巻回される固定子磁極は、永久磁石に対して少なくとも一つが位相が異なるようになっている。例えば、U1-が巻回される固定子磁石とU2+が巻回される固定子磁石を見ると、U1-に対して永久磁石36Aが同相とすると、永久磁石36Bに対しては、位相が30度異なるようになっている。これによって、集中巻の固定子において問題となる脈動トルクが軽減されている。この理由については、図4を用いて後述する。

【0040】集中巻きにおいては、図1に示すように、各巻線が空隙面でラップしないような構成にする。これによって、各巻線間の相互干渉は無くなり、小型軽量で、しかも、構成も簡単にすることができる。

【0041】また、図示のように、隣あう巻線を同相に選択することによって、接続が容易になる。即ち、U相ではU1+とU2-とが隣あっており、U1-とU2+とが隣あっている。また、V相ではV1+とV2-とが隣あっており、V1-とV2+とが隣あっている。同様にして、W相ではW1+とW2-とが隣あっており、W1-とW2+とが隣あっているので、接続が容易になる。

【0042】次に、図4を用いて、トルク脈動の低減する理由について説明する。図4は、本発明の一実施形態による永久磁石回転電機によって発生するトルクの説明図である。

【0043】図4(a)は、U1+, U1-, V1+, V1-, W1+, W1-の各固定子巻線に、図3に示した正弦・余弦発生回路90からの信号に基づいて正弦波電流を加えた場合に発生するトルクを示している。高調波成分を含まなければ、均一なトルクになるが、永久磁石の高調波分や、補助磁極による高調波分等が含まれているため、図示のように、電気角で60度を周期とするトルク脈動を発生する。

【0044】図4(b)は、U2+, U2-, V2+, V2-, W2+, W2-の各固定子巻線に、正弦波電流を加えた場合に発生するトルクを示している。図4(a)に示したのと同様に、永久磁石の高調波分や、補助磁極による高調波分等が含まれているため、図示のように、電気角で60度を周期とするトルク脈動を発生する。

【0045】ここで、固定子巻線24のU1+, U1-, V1+, V1-, W1+, W1-が巻回されている固定子磁極22Bと、固定子巻線24のU2-, V2+, V2-, W2+, W2-が巻回されている固定子磁極22B2とは、電気角で30度の位相差があるために、発生トルクの脈動は逆相となっている。

【0046】従って、図4(c)に示すように、図4(a)と図4(b)の合成されたトルクは、脈動トルクを低減したものとなる。

【0047】図2において、永久磁石極数Mと固定子磁極数Pとの比を10:12の例では、永久磁石回転電機のコギングトルクは、永久磁石極数と固定子磁極数の最

小公倍数、ここでは、60/回転の脈動となる。一般に、コギングトルクは脈動数/回転が大きくなるほど小さくなる。

【0048】ここで、従来からある一般的な表面磁石回転子で集中巻固定子においては、永久磁石極数Mと固定子磁極数Pとの比は、2:3であり、永久磁石極数M=2を図2に示した永久磁石極数M=10極に換算してみると、M:P=10:15に相当する。この場合、コギングトルクの脈動数/回転は、10と15の最小公倍数ということで、30となる。従って、本実施形態による方が、コギングトルクを小さくできるものである。

【0049】また、電流通電時の脈動トルクの減少も図4で示した原理のよって小さくすることができる。

【0050】次に、本実施形態による永久磁石回転電機の弱め界磁制御による動作原理について、図5を用いて説明する。図5は、本発明の一実施形態による永久磁石回転電機の動作原理図である。

【0051】永久磁石回転電機の発生トルクTは、一般には次式で表される。

【0052】

$$T = \{E_0 \cdot I_q + (X_q - X_d) \cdot I_d \cdot I_q\} / \omega$$
  
ここで、 $E_0$ は誘起電圧、 $X_q$ はq軸リアクタンス、 $X_d$ はd軸リアクタンス、 $I_d$ はd軸電流、 $I_q$ はq軸電流、 $\omega$ は回転角速度を表している。

【0053】図5(a)に示すように、永久磁石36はd軸に配置され、永久磁石より高い透磁率を有する補助磁極部32B1の位置はq軸に配置される。この場合、各ベクトルは、図5(a)で表される。ここで、d軸電流 $I_d$ 、q軸電流 $I_q$ の合成である電流 $I_m$ は、図3に示した制御回路の電流指令 $I_{sa}$ 、 $I_{sb}$ 、 $I_{sc}$ や電動機の磁極位置検出器PSやエンコーダEの出力位置の計算等によって図示の位置に制御される。

【0054】上式において、第一項が永久磁石による成分で、第二項がリラクタンス成分で補助磁極部32B1による成分である。

【0055】電気自動車用駆動電動機では、特に低速時に電動機のトルク/電流を最大にするように制御する必要がある。図5(a)はトルク・電流を最大にするように制御した場合のベクトル図を示す。ここでは、補助磁極32B1に増磁起磁力がかかるように制御し、上式の第1項の永久磁石によるトルクとともに第2項の補助磁極32B1によるリラクタンストルクをも十分に活用した制御となる。

【0056】一方、高速領域においては、トルクは少なくともよく、むしろ永久磁石36の磁束を弱めるために、 $I_d$ 成分を大きくし、永久磁石 $E_0$ を $X_d \cdot I_d$ によって打ち消し、高速領域まで回転できるようにしている。図5(b)は高速時のベクトル図を示している。

【0057】以上の電流 $I_d$ 、 $I_q$ の制御は、図3の制御回路の位相シフト回路88によって行われる。

【0058】図5(c)において、破線T2は、従来の表面磁石回転電機によって発生するトルクを示しており、高速領域でのトルクは低下している。それに対し、実線T1は、上述した制御によって、本実施形態による永久磁石回転電機の速度トルクの関係を示しており、従来の表面磁石回転電機に比較して、電流が流れやすくなるため、高速領域まで運転することが可能になる。

【0059】本実施形態によれば、集中巻固定子することにより、固定子のエンドコイル部を短くでき、回転電機を小型化できる。

【0060】また、同一の相に接続される固定子巻線の巻回される固定子磁極は、永久磁石に対して少なくとも一つが位相が異なるようになっているので、集中巻の固定子において問題となる脈動トルクが軽減されている。

【0061】また、補助磁極を有する永久磁石回転子とすることにより、弱め界磁制御に適する構成となっており、高速回転に適した回転電機とことができる。

【0062】また、永久磁石の間には、永久磁石よりも高い透磁率を有する磁性材料からなる補助磁極部を配置したため、発生するトルクを大きくすることができる。

【0063】また、永久磁石の周囲を珪素鋼板で覆う構成とすることにより、高速回転に適したものとなる。

【0064】次に、本発明の他の実施形態による永久磁石回転電機について、図6を用いて説明する。図6は、本発明の他の実施形態による永久磁石回転電機の断面図である。

【0065】本実施形態の特徴とする点は、電動機構成で、3相、かつ永久磁石回転子36の極数Pが10極、固定子の磁極数Mが9極の構成としている。固定子磁極をM、回転子磁石の極数をPとしたとき、M:P=3n:3n±1(ここでnは正の整数)なる構成とすることにより、トルク脈動が少なく、かつ、巻線の利用率(巻線係数)を大きくできることから、高効率、小型軽量とすることができまするものである。

【0066】図6において、回転電機10は、固定子20と回転子30とから構成されている。固定子20は、固定子鉄心22と固定子巻線24から構成される。固定子鉄心22は、円環状の固定子ヨーク22Aと固定子磁極22Bとからなり、固定子磁極22Bには、固定子巻線24が集中的に巻回される構成である。各巻線24は、空隙面での磁路を共有することのない構成である。固定子巻線を集中巻とする固定子構造とすることにより、エンドコイル部の長さを短くすることができたため、回転電機の体格を小さくすることができる。

【0067】固定子巻線24のU相には、U1+, U1-, U2+がそれぞれ接続され、V相には、V1+, V1-, V2+がそれぞれ接続され、W相には、W1+, W1-, W2+がそれぞれ接続される。

【0068】回転子30は、高透磁率磁性材料である、

例えば、複数枚の珪素鋼板が積層されている回転子鉄心32と、回転子鉄心32に設けられた4個の永久磁石挿入孔34に挿入された4個の永久磁石36と、シャフト38から構成されている。10個の永久磁石36は、極性が互いに反対方向になるように、回転子鉄心32の周方向に等間隔で配置されている。

【0069】回転子鉄心32は、永久磁石挿入孔34とシャフト38を通す孔が打ち抜かれる構造となっている。永久磁石挿入孔34とシャフト38を通す孔が打ち抜かれて珪素鋼板を積層し、貫通する永久磁石挿入孔34とシャフト38を通す孔の中に永久磁石36及びシャフト38が挿入されて回転子30を構成する。

【0070】回転子鉄心32を半径方向に分けると、内周側のヨーク部32Aと、外周部32Bに分けられる。また、回転子鉄心32の外周部32Bを周方向に2つの部分に分けると、補助磁極部32B1と、磁極片部32B2に分けられる。補助磁極部32B1は、隣合う永久磁石挿入孔34に挟まれる領域であり、磁石の磁気回路をバイパスして、固定子の起磁力によって直接磁束を固定子側に発生させる領域である。磁極片部32B2は、回転子鉄心32の外周部32Bの中で、永久磁石36の外周側に位置する領域であり、永久磁石36からの磁束B<sub>u</sub>がギャップを介して固定子20側に流れて磁気回路を構成する領域である。

【0071】永久磁石36は、補助磁極部32B1によって周方向を覆われ、磁極片部32B2によって外周を覆われた永久磁石挿入穴34の中に収納することができ、高速回転に適した電動機とすることができます。

【0072】さらには、磁極片部が磁性体であるため、固定子磁極の脈動磁束を緩和することができる。また、積層鉄心であるため、渦電流損を発生しないものである。

【0073】この例では、電動機構成で、3相、かつ永久磁石回転子36の極数Pが10極、固定子の磁極数Mが9極の構成としている。固定子磁極をM、回転子磁石の極数をPとしたとき、M:P=3n:3n±1(ここでnは正の整数)なる構成とすることにより、トルク脈動が少なく、かつ、巻線の利用率(巻線係数)を大きくできることから、高効率、小型軽量とすることができます。

【0074】固定子巻線24の結線は、3相固定子巻線で、U相には、U1+, U1-, U2+が図示の順で接続され、V相には、V1+, V1-, V2+が図示の順で接続され、W相には、W1+, W1-, W2+が図示の順で接続される。ここで、各相を構成する巻線、例えば、U相ではU1+とU1-の間、U1-とU2+の間、V相ではV1+とV1-の間、V1-とV2+の間、W相ではW1+とW1-の間、W1-とW2+の間では、電気角で20度の位相差を有する。このようにして、同一の相に接続される固定子巻線の巻回される固定子磁極は、永久磁石に対して少なくとも一つが

位相が異なるようになっている。例えば、U1-が巻回される固定子磁石とU2+が巻回される固定子磁石を見ると、U1-に対して永久磁石36Aが同相とすると、永久磁石36Bに対しては、位相が20度異なるようになっている。これによって、集中巻の固定子において問題となる脈動トルクが軽減されている。

【0075】また、隣り合う固定子磁極22Bの電気的な角度は、 $180 \times (10/9) = 200$ 度となり、位相差を考えると20度となる。永久磁石回転電機のコギングトルクは、永久磁石極数と固定子磁極数の最小公倍数、ここでは、90/回転の脈動となる。

【0076】一方、図2に示した永久磁石極数Mと固定子磁極数Pとの比を10:12の例では、上述したように、永久磁石回転電機のコギングトルクは、60/回転の脈動となる。従って、本実施形態では、コギングトルクをさらに、小さくすることができる。

【0077】以上は、電動機の例で示したが、発電機でも同様であることはいうまでもないことがある。

【0078】本実施形態によれば、集中巻固定子とすることにより、固定子のエンドコイル部を短くでき、回転電機を小型化できる。

【0079】また、同一の相に接続される固定子巻線の巻回される固定子磁極は、永久磁石に対して少なくとも一つが位相が異なるようになっているので、集中巻の固定子において問題となる脈動トルクが軽減されている。

【0080】また、コギングトルクをさらに、低減できる。

【0081】また、補助磁極を有する永久磁石回転子とすることにより、弱め界磁制御に適する構成となっており、高速回転に適した回転電機とすることができます。

【0082】また、永久磁石の間には、永久磁石よりも高い透磁率を有する磁性材料からなる補助磁極部を配置したため、発生するトルクを大きくすることができます。

【0083】また、永久磁石の周囲を珪素鋼板で覆う構成とすることにより、高速回転に適したものとなる。

【0084】次に、本発明の第3の実施形態による永久磁石回転電機について、図7を用いて説明する。図7は、本発明の第3の実施形態による永久磁石回転電機の断面図である。

【0085】本実施形態の特徴とする点は、電動機構成で、3相、かつ永久磁石回転子36の極数Pが12極、固定子の磁極数Mが8極の構成としている。かかる構成とすることにより、巻線の利用率(巻線係数)を大きくできることから、高効率、小型軽量とすることができまするものである。

【0086】図7において、回転電機10は、固定子20と回転子30とから構成されている。固定子20は、固定子鉄心22と固定子巻線24から構成される。固定子鉄心22は、円環状の固定子ヨーク22Aと固定子磁極22Bとからなり、固定子磁極22Bには、固定子巻

線24が集中的に巻回される構成である。各巻線24は、空隙面での磁路を共有することのない構成である。固定子巻線を集中巻とする固定子構造とすることにより、エンドコイル部の長さを短くすることができるため、回転電機の体格を小さくすることができる。

【0087】固定子巻線24のU相には、U1, U2, U3, U4がそれぞれ接続され、V相には、V1, V2, V3, V4がそれぞれ接続され、W相には、W1, W2, W3, W4がそれぞれ接続される。

【0088】回転子30は、高透磁率磁性材料である、例えば、複数枚の珪素鋼板が積層されている回転子鉄心32と、回転子鉄心32に設けられた4個の永久磁石挿入孔34に挿入された4個の永久磁石36と、シャフト38から構成されている。10個の永久磁石36は、極性が互いに反対方向になるように、回転子鉄心32の周方向に等間隔で配置されている。

【0089】回転子鉄心32は、永久磁石挿入孔34とシャフト38を通す孔が打ち抜かれる構造となっている。永久磁石挿入孔34とシャフト38を通す孔が打ち抜かれ珪素鋼板を積層し、貫通する永久磁石挿入孔34とシャフト38を通す孔の中に永久磁石36及びシャフト38が挿入されて回転子30を構成する。

【0090】回転子鉄心32を半径方向に分けると、内周側のヨーク部32Aと、外周部32Bに分けられる。また、回転子鉄心32の外周部32Bを周方向に2つの部分に分けると、補助磁極部32B1と、磁極片部32B2に分けられる。補助磁極部32B1は、隣合う永久磁石挿入孔34に挟まれる領域であり、磁石の磁気回路をバイパスして、固定子の起磁力によって直接磁束を固定子側に発生させる領域である。磁極片部32B2は、回転子鉄心32の外周部32Bの中で、永久磁石36の外周側に位置する領域であり、永久磁石36からの磁束B<sub>u</sub>がギャップを介して固定子20側に流れて磁気回路を構成する領域である。

【0091】永久磁石36は、補助磁極部32B1によって周方向を覆われ、磁極片部32B2によって外周を覆われた永久磁石挿入穴34の中に収納することができ、高速回転に適した電動機とすることができます。

【0092】さらには、磁極片部が磁性体であるため、固定子磁極の脈動磁束を緩和することができる。また、積層鉄心であるため、渦電流損を発生しないものである。

【0093】この例では、電動機構成で、3相、かつ永久磁石回転子36の極数Pが12極、固定子の磁極数Mが8極の構成としている。かかる構成とすることにより、巻線の利用率(巻線係数)を大きくできることから、高効率、小型軽量とすることができます。

【0094】固定子巻線24の結線は、3相固定子巻線で、U相には、U1, U2, U3, U4が図示の順で接続され、V相には、V1, V2, V3, V4が図示の順で接

続され、W相には、W1, W2, W3, W4が図示の順で接続される。ここで、各U相、V相、W相を構成する巻線の間では、電気角で60度の位相差を有する。

【0095】本例では、同一の相に接続される固定子巻線の巻回される固定子磁極は、永久磁石に対して同相となっており、トルク脈動の低減なし得ないが、同一の相は、対称に配置される構成となっているため、バランスがよい構造となっている。即ち、U相についてみると、各U1, U2, U3, U4は、シャフト38を中心として、点対称になっている。

【0096】以上は、電動機の例で示したが、発電機でも同様であることはいうまでもないことである。

【0097】本実施形態によれば、集中巻固定子とすることにより、固定子のエンドコイル部を短くでき、回転電機を小型化できる。

【0098】また、補助磁極を有する永久磁石回転子とすることにより、弱め界磁制御に適する構成となっており、高速回転に適した回転電機とすることができる。

【0099】また、永久磁石の間には、永久磁石よりも高い透磁率を有する磁性材料からなる補助磁極部を配置したため、発生するトルクを大きくすることができる。

【0100】また、永久磁石の周囲を珪素鋼板で覆う構成とすることにより、高速回転に適したものとなる。

【0101】次に、本発明の第4の実施形態による永久磁石回転電機について、図8を用いて説明する。図8は、本発明の第4の実施形態による永久磁石回転電機の断面図である。

【0102】本実施形態の特徴とする点は、電動機構成で、3相、かつ永久磁石回転子36の極数Pが12極、固定子の磁極数Mが8極の構成としている。かかる構成とすることにより、巻線の利用率（巻線係数）を大きくできることから、高効率、小型軽量とすることができるものである。

【0103】また、回転子の磁極片部を、固定子の磁極側に突出させる形状とすることにより、磁束分布を正弦波状にすることとしたものである。

【0104】図8において、回転電機10は、固定子20と回転子30とから構成されている。固定子20は、固定子鉄心22と固定子巻線24から構成される。固定子鉄心22は、円環状の固定子ヨーク22Aと固定子磁極22Bとからなり、固定子磁極22Bには、固定子巻線24が集中的に巻回される構成である。各巻線24は、空隙面での磁路を共有することのない構成である。固定子巻線を集中巻とすることにより、エンドコイル部の長さを短くすることができるため、回転電機の体格を小さくすることができる。

【0105】固定子巻線24のU相には、U1, U2, U3, U4がそれぞれ接続され、V相には、V1, V2, V3, V4がそれぞれ接続され、W相には、W1, W2, W3, W4がそれぞれ接続される。

【0106】回転子30は、高透磁率磁性材料である、例えば、複数枚の珪素鋼板が積層されている回転子鉄心32と、回転子鉄心32に設けられた4個の永久磁石挿入孔34に挿入された4個の永久磁石36と、シャフト38から構成されている。10個の永久磁石36は、極性が互いに反対方向になるように、回転子鉄心32の周方向に等間隔で配置されている。

【0107】回転子鉄心32は、永久磁石挿入孔34とシャフト38を通す孔が打ち抜かれる構造となっている。永久磁石挿入孔34とシャフト38を通す孔が打ち抜かれ珪素鋼板を積層し、貫通する永久磁石挿入孔34とシャフト38を通す孔の中に永久磁石36及びシャフト38が挿入されて回転子30を構成する。

【0108】回転子鉄心32を半径方向に分けると、内周側のヨーク部32Aと、外周側であって、永久磁石36の外周に位置する磁極片部32B2に分けられる。磁極片部32B2は、永久磁石36からの磁束B<sub>0</sub>がギャップを介して固定子20側に流れ磁気回路を構成する領域であり、ここでは、回転子の磁極片部を、固定子の磁極22B側に突出させる形状とすることにより、磁束分布を正弦波状にしている。

【0109】永久磁石36は、補助磁極部32B1によって周方向を覆われ、磁極片部32B2によって外周を覆われた永久磁石挿入穴34の中に収納することができ、高速回転に適した電動機とすることができる。

【0110】さらには、磁極片部が磁性体であるため、固定子磁極の脈動磁束を緩和することができる。また、積層鉄心であるため、渦電流損を発生しないものである。

【0111】この例では、電動機構成で、3相、かつ永久磁石回転子36の極数Pが12極、固定子の磁極数Mが8極の構成としている。かかる構成とすることにより、巻線の利用率（巻線係数）を大きくできることから、高効率、小型軽量とすることができる。

【0112】固定子巻線24の結線は、3相固定子巻線で、U相には、U1, U2, U3, U4が図示の順で接続され、V相には、V1, V2, V3, V4が図示の順で接続され、W相には、W1, W2, W3, W4が図示の順で接続される。ここで、各U相、V相、W相を構成する巻線の間では、電気角で60度の位相差を有する。

【0113】本例では、同一の相に接続される固定子巻線の巻回される固定子磁極は、永久磁石に対して同相となっており、トルク脈動の低減なし得ないが、同一の相は、対称に配置される構成となっているため、バランスがよい構造となっている。即ち、U相についてみると、各U1, U2, U3, U4は、シャフト38を中心として、点対称になっている。

【0114】以上は、電動機の例で示したが、発電機でも同様であることはいうまでもないことである。

【0115】本実施形態によれば、集中巻固定子とする

ことにより、固定子のエンドコイル部を短くでき、回転電機を小型化できる。

【0116】また、永久磁石回転子とすることにより、弱め界磁制御に適する構成となっており、高速回転に適した回転電機とすることができる。

【0117】また、永久磁石の周囲を珪素鋼板で覆う構成とすることにより、高速回転に適したものとなる。

【0118】以上、各実施形態においては、制御方式として回転子の位置に対して、正弦波状の電流制御を行う方式について述べたが、電流制御を行わない120度通電型のブラシレスモータ方式でも適用できることは言うまでもないことである。

【0119】また、以上の説明では、内転形の電動機で示したが、外転型及び発電機あるいはリニアモータにも適用可能である。

【0120】次に、本発明の第5の実施形態による永久磁石回転電機を用いた電気自動車について、図9を用いて説明する。図9は、本発明の第5の実施形態による永久磁石回転電機を搭載した電気自動車のブロック構成図である。

【0121】電気自動車の車体100は、4つの車輪110, 112, 114, 116によって支持されている。この電気自動車は、前輪駆動であるため、前方の車軸154には、永久磁石回転電機120が直結して取り付けられている。永久磁石回転電機120の構成は、図2, 図6, 図7, 図8に示したような構成となっている。永久磁石回転電機120は、制御装置130によって駆動トルクが制御される。制御装置130の動力源としては、バッテリ140が備えられ、このバッテリ140から電力が制御装置130を介して、永久磁石回転電機120に供給され、永久磁石回転電機120が駆動されて、車輪110, 114が回転する。ハンドル150の回転は、ステアリングギア152及びタイロッド、ナックルアーム等からなる伝達機構を介して、2つの車輪110, 114に伝達され、車輪の角度が変えられる。

【0122】なお、以上の実施例では、永久磁石回転電機を電気自動車の車輪の駆動に用いるものとして説明したが、電気機関車等の車輪の駆動にも使用できるものである。

【0123】本実施形態によれば、永久磁石回転電機を電動車両、特に電気自動車に適用すれば、小型軽量高効率の永久磁石回転電機駆動装置を搭載でき、一充電走行距離の長い電気自動車を提供することができる。

【0124】

【発明の効果】本発明によれば、永久磁石回転電機を、高速に適し、高効率であるとともに、小型軽量にできるとともに、電動車両の一充電走行距離の長くすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態による永久磁石回転電機の

正面側から見た部分断面図である。

【図2】図1のA-A断面を示し、本発明の一実施形態による永久磁石回転電機の断面図である。

【図3】本発明の一実施形態による永久磁石回転電機の制御回路の回路図である。

【図4】本発明の一実施形態による永久磁石回転電機によって発生するトルクの説明図である。

【図5】本発明の一実施形態による永久磁石回転電機の動作原理図である。

【図6】本発明の他の実施形態による永久磁石回転電機の断面図である。

【図7】本発明の第3の実施形態による永久磁石回転電機の断面図である。

【図8】本発明の第4の実施形態による永久磁石回転電機の断面図である。

【図9】本発明の第5の実施形態による永久磁石回転電機を搭載した電気自動車のブロック構成図である。

#### 【符号の説明】

10…永久磁石回転電機

20…固定子

22…固定子鉄心

22A…固定子ヨーク

22B…固定子磁極

24…固定子巻線

26…ハウジング

30…回転子

32…回転子鉄心

32A…ヨーク

32B…外周部

32B1…補助磁極部

32B2…磁極片部

34…永久磁石挿入穴

36…永久磁石

38…シャフト

39…風孔

46, 48…エンドブラケット

42, 44…ベアリング

80…直流電源

82…インバータ

84…速度制御回路

86…F/V変換器

88…位相シフト回路

92…2相-3相変換回路

90…正弦波・余弦波発生器

94A, 94B, 94C…電流制御系

100…車体

110, 112, 114, 116…車輪

130…制御装置

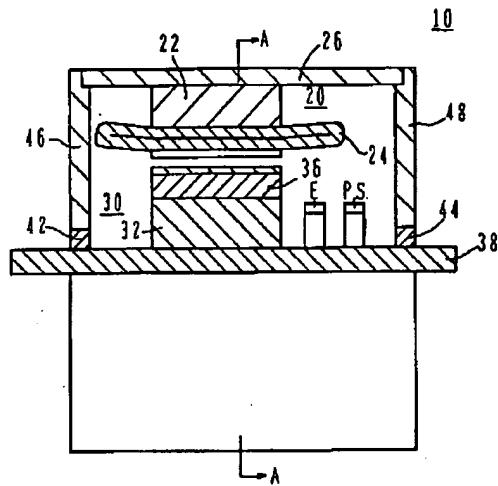
140…バッテリ

150…ハンドル

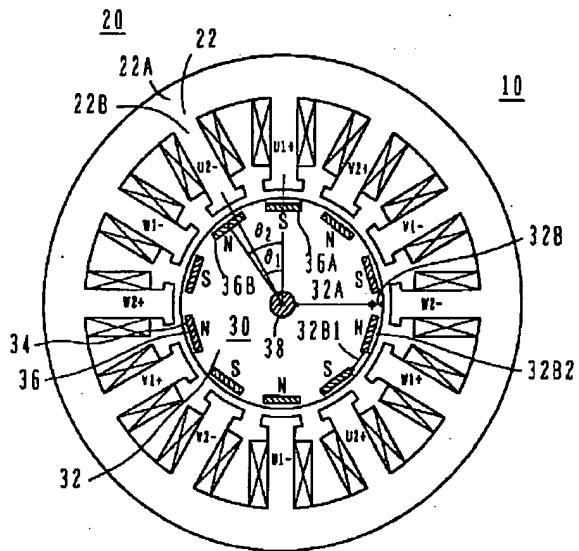
152…ステアリングギア  
154…車軸  
PS…位置検出器

E…エンコーダ  
CT…電流検出器

【図1】

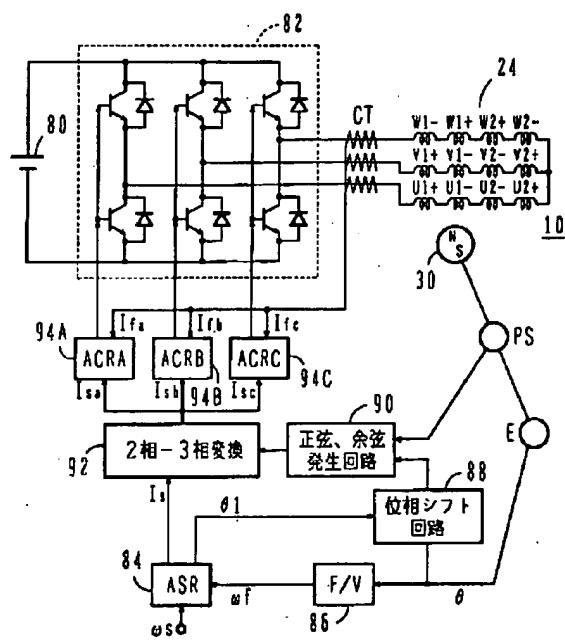


【図2】

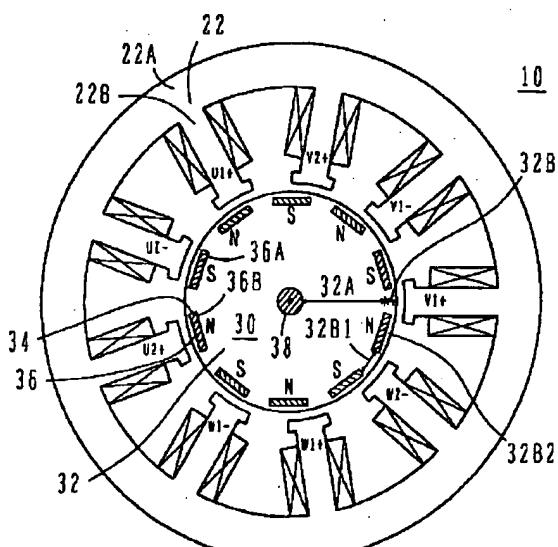


20:固定子  
22:固定鉄心  
24:固定子巻線  
30:回転子  
32B1:  
36:永久磁石

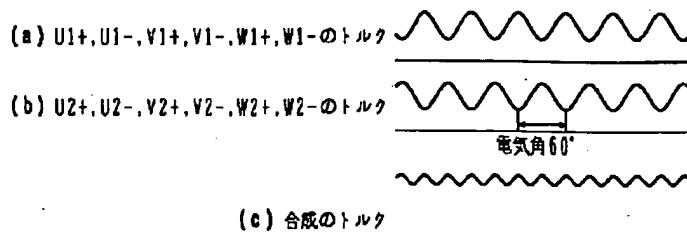
【図3】



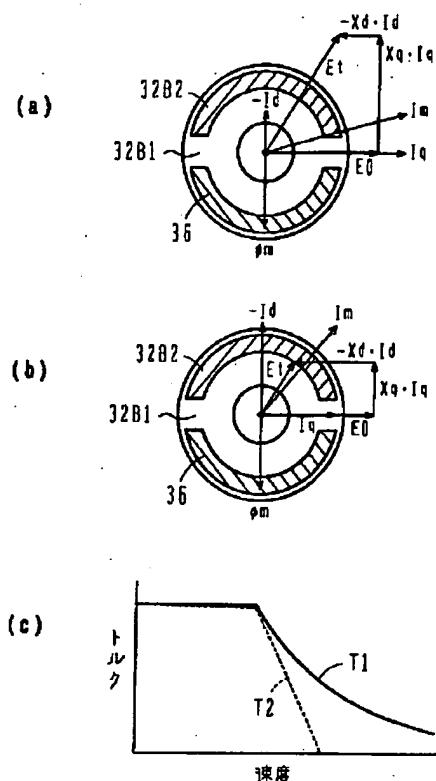
【図6】



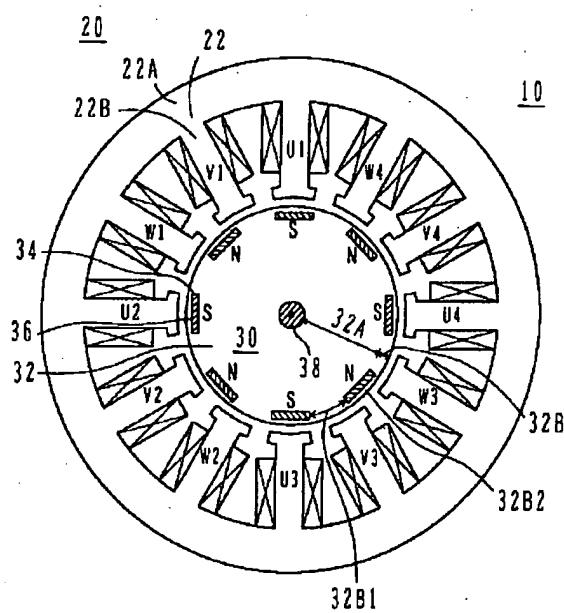
【図4】



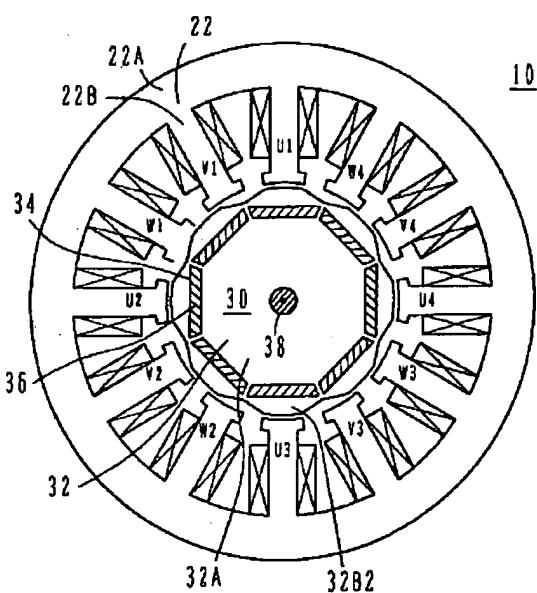
【図5】



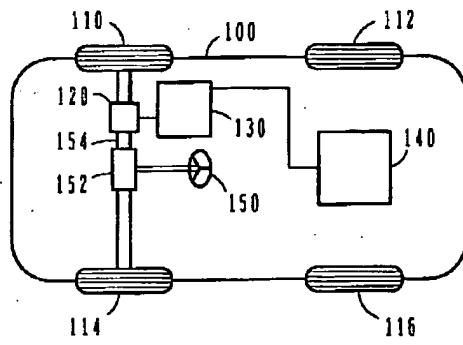
【図7】



【図8】



【図9】



## フロントページの続き

(72)発明者 川又 昭一  
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株  
式会社日立製作所日立研究所内  
(72)発明者 渋川 末太郎  
茨城県ひたちなか市大字高場2520番地 株  
式会社日立製作所自動車機器事業部内

(72)発明者 小泉 修  
茨城県ひたちなか市大字高場2520番地 株  
式会社日立製作所自動車機器事業部内  
(72)発明者 小田 圭二  
茨城県ひたちなか市高場2477番地 株式会  
社日立カーエンジニアリング内